Kobe University Repository : Kernel

Title	神戸市東部における表層土壌の重金属汚染
Author(s)	足立, 光司 / 田結庄, 良昭
Citation	神戸大学発達科学部研究紀要, 8(1): 89-102
Issue date	2000-09
Resource Type	Departmental Bulletin Paper / 紀要論文
Resource Version	publisher
URL	http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/81000393

Create Date: 2015-11-06

神戸大学発達科学部研究紀要
第8巻第1号　2000

神戸市東部における表層土壌の重金属汚染

足立光司*　田結庄良昭*

Heavy Metal Pollution of Surface Soil in Eastern Part of Kobe City

Kouji ADATI and Yosiaki TAINOSHO

はじめに

かつて、土壌汚染は渡良瀬川流域の銅汚染、神通川流域のカドミウム汚染など鉱山や精錬所の排水やばい煙が農耕地を汚染し、多くの人々の健康に被害をもたらした。その結果、農耕地に対する土壌汚染防止法として「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律（昭和45年）」が施行され、調査,浄化が順調に進められてきている。しかし、最近では産業の発展に伴い土壌汚染はさまざまな形態をとるようになり、このような状況下において旧来型の汚染調査は人類の未来に対し、万全の安心を与えるものではなくなってきている。そこで、今回の研究で調査の対象としたのは、人口が密集している市街地の表層土壌を場とした人間活動が表層土壌環境に与えた影響を、特に重金属元素に注目して調査を行った。

調査地域とした神戸市灘区周辺の土壌重金属汚染について足立、田結庄（1999）は神戸市灘区海岸部工業地域の製鉄所を汚染源としたFe, Mn, Niによる汚染と、自動車交通を汚染源としたV, Cr, Cu, Zn, Hg, Pbによる汚染の存在を示唆した。そこで、今回の調査はその結果を踏まえ、灘区,東灘区で120箇所の公園土壌、南部工業地域で15個所の道路わき粉じんを採取し、その組成を化学分析することによって、さらに詳しい土壌重金属汚染と汚染源との関係、汚染に関与する重金属の特定の調査を行ったのでここに報告する。

＊神戸大学大学院総合人間科学研究科自然環境論講座

（2000年4月28日　受付
2000年6月9日　受理）

調査地域の概要

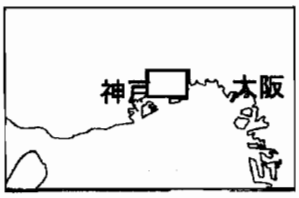
調査地域は東西が神戸市灘区の西郷川と東灘区天井川との間、約６キロメートル、南北が六甲山と大阪湾に囲まれた約３キロメートルの範囲にある地域である。

この地域の大部分は六甲山のふもとに見られる緩扇状地に位置し、その土壌は花崗岩の風化物であるまさ土の特徴を有している。調査地域内の六甲山は大部分が六甲花崗岩よりなるが、南部の一部には六甲花崗岩に比べ黒雲母などの有色鉱物が多い布引花崗閃緑岩が分布している。

調査地域内の主な道路の交通量は、全国道路交通情勢調査（1994）によると、阪神高速神戸西宮線96100台/日、国道43号線78583台/日、国道２号線33023台/日、灘浜住吉川線12836台/日となっており、特に東西を結ぶ南側の道路で交通量が多くなっている。

調査地域の用途地域分布は国道43号線以南が工業地域、国道２号線付近とJR駅付近が商業地域、その他の地域が住居専用地域となっている。重金属の発生源のひとつと考えられる製鉄所は工業地域の南部にある埋立地に位置している（図１）。

調査地域の風向頻度は、製鉄所の約300メートル北に位置する灘浜大気観測所の平成９年度の風向頻度調査によると、最も高い頻度で吹く風は年平均で東北東（18.5%）、西南西（14.5%）であり以下、西（10.9%）、南西（10.2%）となる。



灘区，東灘区調査地域

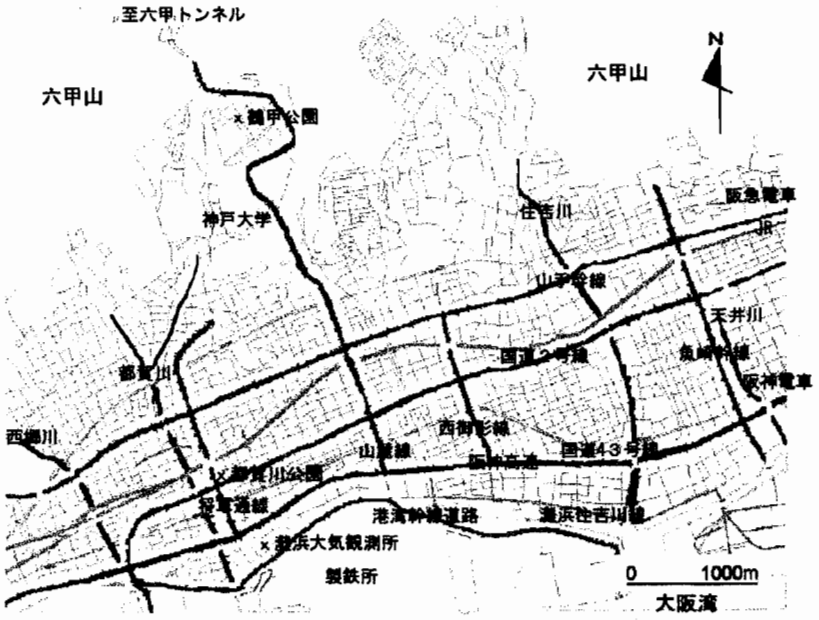


図１　調査地域の位置と地域内の重要道路，河川，その他施設

分析方法

1.分析装置

本調査で使用する化学分析機器は日本電子製エネルギー分散型蛍光X線分析装置（ＪＳＸ－３２２０　エレメントアナライザー）である。定量分析にはＦＰ法定量（ファンダメンタルパラメーター法）を用いている。この方法は装置の持つ諸定数や物理的な基礎パラメーターをもとに、理論的に蛍光X線強度を算出する方法である。その理論強度をもとに、内蔵されている標準試料データとの比を電流値、測定時間でノーマライズして試料の定量を行っている。よって、その定量値は検量線法と違い一種の相対値であり、分析項目に含まれる元素で全体の定量値が100％になるようにプログラムされている。

2.試料の採取方法

今回の調査で注目する重金属類は、一般の土壌中にはごく微量しか含まれない。本研究で使用する機器によって精度よく試料間の化学組成比較を議論するため、試料をより重金属が濃集する状態から採取する必要があり、そのための採取法の検討を行った。

2－1粒径：　試料の粒径に関し、各粒径の化学組成の違いを調べ分析に最適な粒径を探った。

同一試料を粒径750～250μm（20～60メッシュ）、249～150μm（60～100メッシュ）、149μm以下（100～メッシュ）に、ふるいを使って３種類の粒径にふるい分け（分粒）し、それぞれに分粒した試料を粒度差による標準偏差の変化を除くため149μm以下に粉砕し、分類した試料間のWt.％比較を行った（図２）。その結果、Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Pbは試料粒径が小さくなるにつれ、そのWt.％が高くなる傾向がみられた。一方、V, Cr, Niは試料粒径が大きくなるにつれそのWt.％が高くなる傾向がみられた。なお、今回の図中での分析表示は、自然の状態に近い状態である酸化物表示で示している。

土壌が花崗岩質源である場合、その重金属含有率は一般に低く、市街地土壌で高い重金属濃度を示した理由は工場の排煙や自動車交通などの人間活動に伴う浮遊粒子状物質が土壌に降下してきたことや工場が移転した跡地などが考えられる。今回の調査地域では極端な汚染は見られなかったため、工場跡地による汚染の可能性は低いと思われ、その重金属起源は風によって発生源から飛ばされた浮遊粒子状物質であると考えられる。それらが母岩の風化した二次鉱物である粘土鉱物に吸着し、149μm以下の微細な形状としてふるい分けられ、粒径の小さな試料に濃集する結果になったものと思われる。またCr, Niについては他の試料で行った分析結果も粒径が大きくなるにつれ、Wt.％が大きくなる傾向が得られている。これらの粒径が大きくなるにつれ、その含有量が大きくなる元素は他の重金属とは異なった濃集形態をとるものと考えられるが、詳細については不明である。しかし、大多数の重金属が149μm以下の粒径に濃集する結果が得られたことから、今回の調査は100メッシュのふるいを通過した粒径149μm以下の試料の化学組成を分析し、議論することにする。

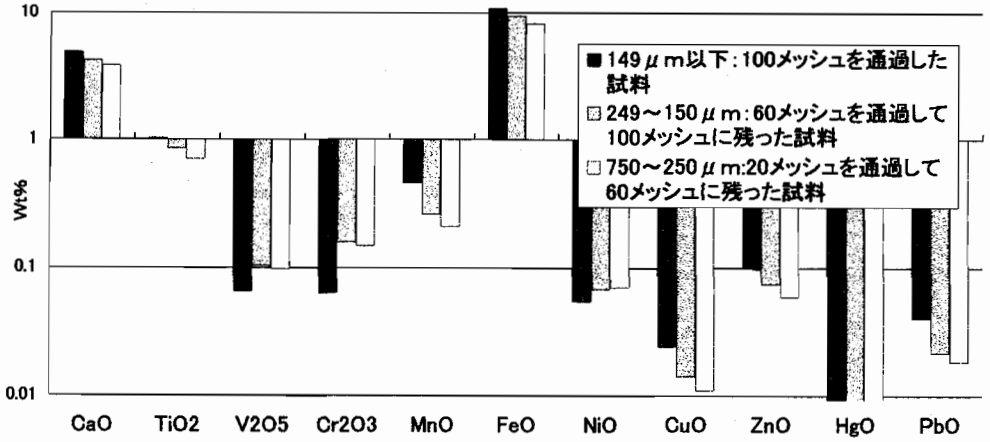


図2　表層土壌試料の粒径と化学組成の関係を示す図
分析を行った試料(990526)の結果を示す。それぞれの粒径は149μm以下に粉砕して、粒径による標準偏差の変動を低くしてある。

2－2採取深度：　土壌試料を、採取した深さによって重金属成分がどのように変化するかを調べた。その結果、Cr, Ni, Cu, Zn, Pbなどの重金属が最表層部に向かうにつれて濃集する傾向が見られた（図３）。重金属が土壌中のどの深さにまで達しているかは重金属の土壌への吸着性、溶水性、土壌に降下してから経過した時間などと関係があると考えられる。しかし、大気中に浮遊していた微粒子が沈着により土壌に付加されたのであれば、最表層に濃集する可能性が最も高いと考えられる。今回の結果もそれを示唆し、表層部に多くの重金属が濃集する結果になった。以上の結果より今回、調査の試料採取は最表層数ｃｍ以内の土壌を採取することにとした。

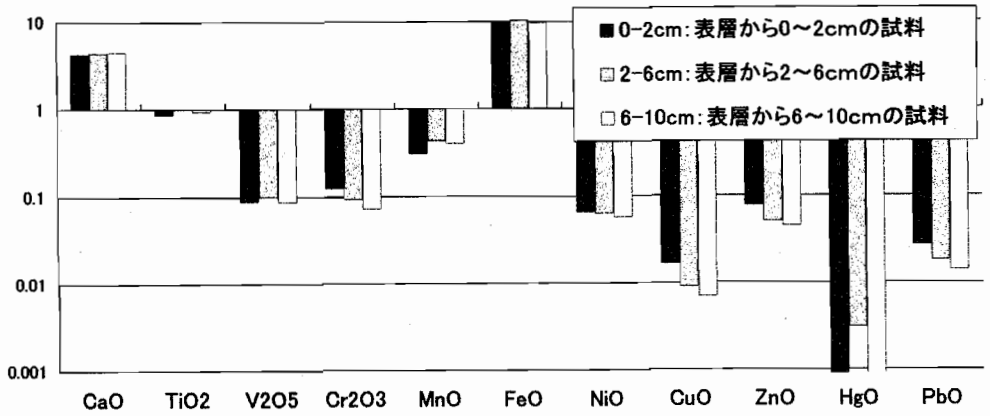


図3　試料の採取深度と化学組成の関係を示す図
分析を行った試料(990526)の結果を示す。値は0－2、2－6、6－10cmの深さで採取した試料を20～60、60～100、100～ﾒｯｼｭに分粒し、それぞれを149μm以下に粉砕して値を求めた三点の平均値である。

2－3公園内での採取地の選択： 公園には同じ公園内においてもグランド部分や砂場、踏み固められた通路など様々な環境があり、その環境による化学組成の違いを把握する必要がある。そこで、神戸市灘区の鶴甲公園において公園内でのさまざまな場所の土壌を採取し、分析を行った。その結果、グランド内の水溜り跡や、雨水が流れて侵食された跡が残る地点（流路跡）など、雨水の影響を受けたと想定される地点の試料では、他の試料条件に比べCr、Zn濃度が高くなった。また、グランド内の水溜り跡においてTi、Fe、Ni濃度が特に高い値となった（表１）。

この理由として表層土壌に吸着されていた重金属が雨水に溶け出し流されたこと、雨水に吸着し降下してきた重金属がその流路に濃集したこと、などが考えられる。一方、比較的雨水の影響が少ないとみられるグランド部分で採取した3点の試料では、その化学組成の違いは分析機器の測定精度から判断しても問題ない範囲であった。

表1 鶴甲公園での異なった環境で採取した試料の化学組成（値はWt%） nd:検出限界以下

	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO
グランド1	2.10	0.373	0.0309	nd	0.158	3.85	0.0157	0.0006	0.0097	nd	0.0040
グランド2	3.12	0.289	0.0183	0.0025	0.126	3.20	0.0113	0.0017	0.0081	0.0010	0.0030
グランド3	2.56	0.422	0.0439	0.0036	0.195	4.69	0.0183	0.0034	0.0090	nd	0.0015
グランド(水溜跡)	1.98	0.461	0.0369	0.0055	0.204	5.15	0.0197	0.0020	0.0205	nd	nd
グランド(流路)	2.21	0.273	0.0417	0.0228	0.156	3.61	0.0100	0.0020	0.0203	nd	0.0023
木下	2.65	0.233	0.0265	nd	0.176	3.43	0.0139	nd	0.0164	nd	0.0085
砂場	4.48	0.358	0.0388	0.0103	0.159	3.46	0.0207	0.0024	0.0069	nd	nd
芝生	3.20	0.393	0.0380	0.0051	0.198	4.08	0.0148	nd	0.0094	0.0010	0.0034

今回の公園における試料採取地点は雨水の影響が少ないグランド表層部分の1地点約100平方センチメートルから数百グラムの土壌を採取し、その採取試料を実験室で100メッシュのふるいにかけ、ふるいを通過した採取試料をその採取地点の分析試料とした。また、分析は機器内を真空に保った状態で行うため、分析試料をバインダーとなる物質と混合した後に、加圧して形成し、分析が可能な強度にする必要がある。そこで、分析を行う上で妨害となる元素を組成に持たないホウ酸と分析試料を、試料：ホウ酸＝3：2（予備調査より、この比率で試料含有率が最も高く、かつ測定試料としての十分な強度を有する結果が得られた）の比率で混合し、加圧形成して測定試料とした。以下にその試料作成方法と分析条件をまとめる。

試料作成方法

1 採取：最表層数cm土壌を採取する
2 乾燥：ホットプレートを用い105℃で1～2時間乾燥
3 篩：100メッシュ布でふるう
4 秤量：ふるいを通過した試料3.000ｇとホウ酸2.000ｇ秤量する
5 混合：試料ビンに試料とホウ酸を移し両者が均一に分布するよう約20分振り混ぜる
6 形成：試料保護用アルミリングにうつし、プレス機を用い加圧形成する

測定条件

分析機器：エネルギー分散型蛍光Ｘ線
定量方法：バルクＦＰ法
管電圧：30.0ＫＶ
計測時間：５００秒
測定元素：Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Hg, Pb
表示方法：酸化物のWt.％

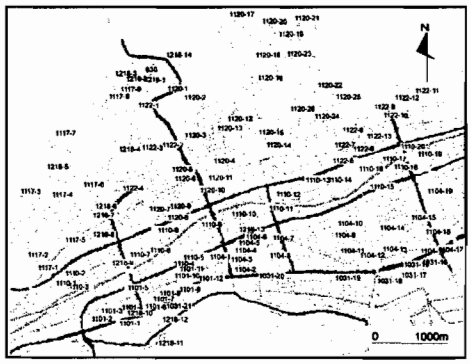


図４　公園土壌試料採取番号を示す

化学分析値

鶴甲公園内の土壌８地点、南部工業地域に位置する海岸沿いを通る道路わきの粉じん14地点、調査地域の公園土壌119地点、都賀川公園９地点で試料を採取し、測定を行った結果の表示を示す（表２）。なお、元素のWt.％表示は人為的影響が特に大きいと思われる重金属Mg, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Hg, Pbについてのみ行った。また、表中の道路距離の分類は図７で示す。

表２　化学分析値

試料番号と天候	分析値(Wt%)												道路距離	試料採取地点の住所	公園名、試料環境
前日雨	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO		鶴甲公園	
0630-1	nd	2.1	0.37	0.03	nd	0.16	3.85	0.02	0	0.01	nd	0		鶴甲３−４	グランド1
0630-2	nd	1.98	0.46	0.04	0.01	0.2	5.15	0.02	0	0.02	nd	nd		鶴甲３−４	グランド(水溜跡)
0630-3	nd	2.21	0.27	0.04	0.02	0.16	3.61	0.01	0	0.02	nd	0		鶴甲３−４	グランド(流路)
0630-4	nd	2.65	0.23	0.03	nd	0.18	3.43	0.01	nd	0.02	nd	0.01		鶴甲３−４	木下
0630-5	nd	4.48	0.36	0.04	0.01	0.16	3.46	0.02	0	0.01	nd	nd		鶴甲３−４	砂場
0630-6	nd	3.12	0.29	0.02	0	0.13	3.2	0.01	0	0.01	0	0		鶴甲３−４	グランド2
0630-7	nd	3.2	0.39	0.04	0.01	0.2	4.08	0.01	nd	0.01	0	0		鶴甲３−４	芝生
0630-8	nd	2.56	0.42	0.04	0	0.2	4.69	0.02	0	0.01	nd	0		鶴甲３−４	グランド3
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1031-1	1.93	8.39	0.49	0.03	0.04	0.18	5.1	0.01	0.01	0.09	nd	0.01		日出町	粉じん
1031-2	1.65	11.2	0.86	0.04	0.06	0.2	6.4	0.01	0.03	0.64	0	0.02		味泥町3	粉じん
1031-3	1.55	10.4	0.6	0.03	0.05	0.19	5.72	0.01	0.01	0.34	0	0.01		味泥町2	粉じん
1031-4	1.8	12.2	0.7	0.04	0.07	0.28	6.66	0.01	0.04	0.44	0.01	0.01		大石南町３−２	粉じん
1031-5	2.16	12.3	0.62	0.03	0.32	0.64	15.3	0.01	0.02	0.28	0.01	nd		新在家南町５−１	粉じん
1031-6	2.66	16.2	0.66	0.04	0.33	0.59	16	0.02	0.01	0.16	nd	nd		新在家南町４−２	粉じん
1031-7	2.22	16.5	0.79	0.03	0.11	0.42	13.1	0.02	0.02	0.33	nd	nd		新在家南町４−１	粉じん
1031-8	2.62	11	0.76	0.03	0.21	0.45	12.6	0.02	0.03	0.35	nd	nd		新在家南町３−１	粉じん
1031-9	2.14	11	0.72	0.03	0.12	0.4	12	0.03	0.02	0.28	nd	0		御影塚町１−５	粉じん
1031-10	2.1	11.4	0.73	0.03	0.11	0.37	10.9	0.02	0.02	0.25	0	0.02		御影石町１−３	粉じん
1031-11	1.71	11.1	0.67	0.02	0.06	0.29	7.66	0.01	0.01	0.24	0	0.01		御影本町１−１	粉じん
1031-12	1.38	7.55	0.6	0.03	0.04	0.23	6.39	0.01	0.02	0.12	0	0.01		魚崎石町１−１	粉じん
1031-13	1.35	7.65	0.58	0.02	0.05	0.19	4.34	0.01	0.01	0.09	nd	0.01		魚崎南町３−３	粉じん
1031-14	1.67	5.73	0.52	0.02	0.03	0.17	4.78	0.01	0.01	0.12	nd	0.01		魚崎南町２−３	粉じん
1031-15	1.03	3.02	0.55	0.02	0.01	0.11	4.6	0.01	0	0.03	nd	0	2	魚崎南町３−19	
1031-16	1.31	3.33	0.51	0.02	0	0.11	4.34	0.01	0.01	0.02	nd	nd	3	魚崎南町２−９	
1031-17	1.21	3.14	0.62	0.02	nd	0.14	4.75	0.01	nd	0.01	0	nd	4	魚崎南町４−８	
1031-18	0.42	2.5	0.4	0.01	nd	0.12	3.46	0.01	0.01	0.04	0	0.01	4	魚崎南町５−８	
1031-19	0.64	2.88	0.38	0	0	0.13	3.98	0.01	nd	0.02	0	0	5	住吉南町1	御旅公園
1031-20	0.43	3.17	0.42	0.01	0.01	0.15	5.21	0.01	nd	0.02	nd	0	3	魚崎石町1	石屋川公園
1031-21	0.03	1.23	0.23	0	nd	0.09	3.25	0.01	0	0.02	nd	0.01	3	新在家南町３−５	

神戸市東部における表層土壌の重金属汚染

試料番号と天候	分析値(Wt%)												道路距離	試料採取地点の住所	公園名、試料環境
前日雨	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1101-1	1.17	3.35	0.82	0.02	nd	0.21	5.96	0.01	nd	0.01	0	nd	3	大石南町2－7	
1101-2	1	3.16	0.37	0.03	nd	0.11	3.71	0.01	0	0.02	0	0	3	都通3	求女塚西公園
1101-3	0.32	2.19	0.32	0.01	nd	0.14	3.44	0.01	0	0.02	0	0	3	都通1	西灘公園
1101-4	0.12	1.52	0.13	0	nd	0.06	1.77	0	0	0.01	nd	0.01	4	大石北町	
1101-5	0.51	3.83	0.2	0.01	0.01	0.07	1.93	0.01	0	0.01	nd	0.01	2	鹿ノ下通3	都賀川公園R2沿
1101-6	1.24	3.23	0.61	0.02	0.01	0.16	5.35	0.01	nd	0.02	nd	nd	3	大石東町5	
1101-7	0.78	1.99	0.32	0	0	0.11	3.09	0	0.01	0.01	0	nd	4	大石東町4	
1101-8	0.68	3.71	0.44	0.01	0.01	0.19	4.62	0.01	nd	0.01	nd	0	4	大石東町3	マンションの間
1101-9	nd	4.83	0.84	0.06	nd	0.31	7.33	0.03	nd	0.01	nd	nd	2	大石東町2	
1101-10	0.98	2.97	0.36	0.02	0	0.14	4.03	0.01	0	0.01	nd	0.01	3	烏帽子町	
1101-11	1.04	2.95	0.55	0.01	0.01	0.18	5.91	0.01	nd	0.05	0	nd	3	友田町3	マンションの間
1101-12	1.58	2.89	0.68	0.03	nd	0.15	5.09	0.01	nd	0.01	0	nd	1	浜田町3	R43そば
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1104-1	0.39	2.34	0.18	0.01	0.01	0.08	2.95	0.01	0	0.02	nd	0.01	4	友田町1－1	友田町公園
1104-2	0.53	3.17	0.32	0.02	0.01	0.15	5.09	0.01	0	0.04	0	0.01	2	御影塚町2－21	
1104-3	1.62	3.36	0.65	0.02	0.01	0.2	7.56	0.01	nd	0.04	nd	nd	2	御影塚町2－10	乙女塚公園
1104-4	0.72	2.73	0.45	0.01	0.01	0.11	4.04	0	nd	0.01	nd	nd	4	配田町2－1	
1104-5	0.79	3.23	0.53	0.02	0.01	0.13	4.21	0.01	0	0.02	0	0.01	4	配田町1－1	石屋川公園西
1104-6	0.62	2.15	0.32	0.01	0.01	0.1	3.76	0.01	0.01	0.03	nd	0.02	1	御影石町3	石屋川公園東
1104-7	1.51	4.45	0.78	0.02	0	0.19	6.01	0.01	nd	0.01	0	nd	2	御影本町5	
1104-8	0.72	2.53	0.32	0.01	0	0.09	2.9	0.01	0	0.02	nd	0	4	御影本町6	上中公園
1104-9	0.37	2.92	0.33	0	0.01	0.09	2.78	0.01	nd	0.02	0	0	3	住吉宮町3	
1104-10	1.19	3.62	0.39	0.01	0	0.1	3.27	0.01	0	0.01	nd	0	3	住吉宮町3－7	住吉宮町公園
1104-11	0.6	4.64	0.28	0.01	0	0.1	2.66	0.01	0	0.01	nd	0.01	4	住吉宮町1	求女塚公園
1104-12	0.28	1.61	0.27	0.01	0	0.09	3.23	0.01	0	0.01	0	0.02	4	魚崎西町4	
1104-13	0.47	1.91	0.25	0.01	0.02	0.06	2.21	0.01	0	0.01	nd	nd	3	魚崎中町4	魚崎中公園
1104-14	0.3	3.37	0.25	0.01	nd	0.09	2.02	0.01	0	0.02	0	0.01	5	魚崎北町4－12	校北公園
1104-15	0.15	2.69	0.1	0.01	0.01	0.13	1.41	0	nd	0.01	nd	0	3	魚崎北町2	川井公園
1104-16	0.95	2.99	0.55	0.03	nd	0.13	4.22	0.01	nd	0.01	0	nd	2	魚崎南町7	新堀公園
1104-17	0.64	2.09	0.34	0.02	nd	0.11	3.45	0	0.01	0.04	nd	0.01	2	魚崎南町6	魚崎南公園
1104-18	0.01	3.58	0.24	0.02	0	0.06	2.03	0	0	0.01	0	0.01	3	魚崎中町1	
1104-19	0.6	3.27	0.33	0	0.01	0.06	3.2	0	0	0.01	nd	0.01	5	本山南町5	福井池公園
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1110-1	0.67	3.54	0.41	0.01	0.01	0.1	3.65	0	0.01	0.04	nd	0.01	2	大内通6	川沿い
1110-2	2.2	4.67	0.65	0.03	0.01	0.17	5.47	0	nd	0.02	nd	nd	3	大内通5	稗田公園
1110-3	0.7	2.94	0.37	0.01	0	0.08	2.8	0	0	0.02	0	nd	4	灘北町5	灘北公園
1110-4	0.3	2.08	0.28	0.01	0	0.08	2.27	0.01	0	0.01	nd	0	4	下河原通1	下川原公園
1110-5	0.55	2.45	0.29	0.01	nd	0.12	3.45	0.01	0	0.01	nd	0	2	琵琶町3	琵琶町公園
1110-6	1.24	3.04	0.6	0.02	nd	0.15	4.86	0.01	nd	0.01	nd	nd	4	稗原町3	
1110-7	2.22	2.87	1.03	0.03	nd	0.23	8.45	0.01	nd	0.02	nd	nd	3	千旦通2	千旦公園
1110-8	0.7	6.26	0.3	0.01	0.01	0.09	2.49	0.01	0	0.01	nd	0.01	3	森後町3	マンション内公園
1110-9	0.35	2.02	0.21	0.01	0.01	0.05	1.83	0	0	0.01	nd	0.01	4	中郷町5	大和公園
1110-10	0.17	3.13	0.24	0.01	0	0.08	2.53	0	0	0.01	0	0	5	御影石町4	石屋川公園
1110-11	0.56	3.07	0.36	0.01	0.01	0.15	3.82	0.01	0.01	0.03	nd	0	2	御影中町4	うやなぎ公園
1110-12	0.45	2.26	0.43	0.01	nd	0.12	4.3	0.01	0	0.02	0	0	4	御影町群家	兼安公園
1110-13	0.34	2.14	0.42	0	nd	0.1	3.52	0	0.01	0.03	nd	0.01	2	住吉本町2	
1110-14	0.67	2.49	0.67	0.02	0.01	0.16	5.57	0.01	nd	0.01	nd	nd	5	住吉本町1	古寺公園
1110-15	1.23	3.92	0.51	0.01	nd	0.17	4.62	0.01	0	0.03	nd	0.01	3	田中町5	田中西公園
1110-16	0.56	2.24	0.35	nd	nd	0.12	3.56	0.01	0.01	0.01	0	0	5	西岡本2	野寄公園
1110-17	0.52	1.53	0.3	0	nd	0.1	2.89	0	nd	0.01	nd	0	5	西岡本1	マンション小公園
1110-18	1.66	3.86	0.77	0.02	nd	0.17	5.67	0.01	0	0.01	nd	nd	5	田中町3	てみず公園
1110-19	1.39	3.49	0.73	0.02	0	0.15	5.26	0.01	nd	0.01	nd	nd	4	田中町2	中野町公園
1110-20	1.04	3.59	0.56	0.01	0	0.14	4.78	0.01	0	0.02	nd	nd	1	岡本2	本山街園
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1117-1	0.63	2.18	0.45	0.02	0	0.09	3.19	0	nd	0.01	nd	0	5	中原通7	青谷公園
1117-2	0.46	2.56	0.29	0.01	nd	0.06	1.94	0.01	nd	0	0	0	5	福住通7	福住公園
1117-3	1.04	3.38	0.51	0.02	nd	0.13	4.15	0.01	0.01	0.01	nd	nd	5	箕岡通4	箕岡公園
1117-4	0.34	1.31	0.17	0.05	0	0.09	2.5	0.01	0	0.01	nd	0.01	6	五毛通2	五毛公園
1117-5	0.59	3.08	0.47	0.02	nd	0.12	3.89	0.01	0	0.02	0	0.01	5	畑原通2	畑原公園
1117-6	0.76	3.94	0.34	0.02	nd	0.08	2.43	0.02	0	0.01	nd	0.01	3	篠原北町4	護国神社前公園
1117-7	0.06	1.8	0.25	nd	nd	0.1	3.08	0.01	0	0.02	nd	0.01	6	長峰台2	長峰台墓地駐車場
1117-8	1.69	2.6	0.88	0.03	nd	0.15	5.62	0.01	nd	0.01	0	nd	6	大月台	大月台公園
1117-9	3.04	3.18	0.93	0.04	0.01	0.21	7.8	0.01	0	0.03	0.01	0	2	篠原台	篠原台小公園

試料番号と天候	分析値(Wt%)												道路距離	試料採取地点の住所	公園名、試料環境
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1120-1	0.32	1.82	0.29	0.01	0.01	0.1	3.11	0.01	0	0.01	nd	0	3	鶴甲2	
1120-2	nd	1.77	0.25	0.01	0.01	0.14	3.83	0.01	0	0.02	nd	nd	6	鶴甲1	滝の奥小公園
1120-3	1.03	2.79	0.45	0.02	0	0.11	3.77	0.01	nd	0.01	nd	0.01	5	桜ヶ丘	桜ヶ丘公園
1120-4	1.12	2.29	0.54	0.02	nd	0.13	4.66	0.01	nd	0	nd	nd	4	御影山手2	
1120-5	0.62	3.03	0.3	0.01	0.01	0.08	2.6	0.01	0.01	0.01	nd	0	2	高羽町4	高羽公園
1120-6	1.43	8.31	0.53	nd	0.01	0.19	3.17	0	0	0.01	0.02	nd	5	高羽町5	
1120-7	0.4	2.64	0.22	0	0.01	0.11	2.08	0.01	0	0.01	0.01	0.01	4	八幡町3	八幡神社公園
1120-8	0.38	1.72	0.19	0.02	nd	0.08	2.12	0	0	0.01	nd	0	2	日尾町3	日尾町公園
1120-9	1.02	3.89	0.37	0.01	0.01	0.11	3.03	0.01	0	0.02	0	0.01	2	八幡町2	
1120-10	0.68	3.32	0.3	0.01	0	0.08	2.47	0.01	nd	0.03	nd	0	2	高徳町3	寿公園
1120-11	0.65	2.05	0.28	nd	nd	0.11	3.04	0.01	0.01	0.01	nd	0.01	4	楠丘町1	石屋川公園
1120-12	1.21	3.3	0.37	nd	0.01	0.11	2.99	0.01	0	0.01	nd	0	5	御影山手3	御影山手公園
1120-13	0.31	1.86	0.26	nd	nd	0.08	2.47	0.01	0	0.01	nd	0	5	御影山手4	第2御影山手公園
1120-14	0.22	1.98	0.3	0	nd	0.07	2.38	0.01	0	0.01	nd	0	5	御影山手1	深田池公園
1120-15	0.52	2.48	0.37	0.02	0.01	0.1	2.85	0	nd	0.02	0	0	6	鴨子ヶ原1	深田池北公園
1120-16	0.28	2.75	0.45	0.01	nd	0.09	3.84	0	0	0.01	nd	0	6	鴨子ヶ原2	
1120-17	0.48	1.98	0.28	0.01	nd	0.09	2.67	0.01	0	0.02	nd	0.01	6	渦森台4	渦森台公園
1120-18	0.98	3	0.38	0.02	0	0.13	3.58	0	0	0.02	nd	0	6	渦森台2	渦森公園
1120-19	0.53	2.81	0.41	0.02	nd	0.12	3.83	0.01	nd	0.02	nd	0.01	3	住吉山手8	西谷公園
1120-20	nd	0.91	0.39	0.01	nd	0.05	2.07	0	nd	0.01	0	0	6	住吉山手9	焼ケ原北公園
1120-21	nd	1.68	0.29	0.02	0	0.09	2.66	0	0	0.01	0	0.01	6	住吉台43	北荒神山公園
1120-22	nd	4.24	0.54	0.03	0.01	0.08	3.33	0	nd	0.02	0.01	0.01	5	住吉台下側	マンション横
1120-23	nd	1.97	0.33	0.02	nd	0.05	2.99	0	0	0.01	nd	0.01	5	住吉台16	住吉台中公園
1120-24	nd	1.92	0.27	0.01	0.01	0.11	3.71	0	0.01	0.02	0	nd	3	西岡本6	清流の里公園
1120-25	nd	1.18	0.25	0.01	nd	0.06	2.69	0	0	0.01	0	nd	6	西岡本10	十文字山東公園
1120-26	nd	1.64	0.23	0.01	nd	0.06	2.8	0	0	0.01	nd	0	6	住吉山手5	赤塚山小公園
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1122-1	0.16	3.41	0.51	0.03	0	0.07	4.04	0.01	0	0.01	nd	nd	6	六甲台	六甲台グランド
1122-2	nd	3.17	0.35	0.02	0.01	0.07	3.42	0.01	0	0.01	0	0	6	六甲台	工学部グランド
1122-3	nd	1.85	0.26	0.01	nd	0.06	2.51	0	0	0.01	nd	0	6	六甲台	自然棟駐車場
1122-4	1.33	3.6	0.94	0.04	nd	0.19	8.45	0.01	0	0.02	0	0	3	篠原本町1－7	更地
1122-5	nd	1.74	0.13	0.03	nd	0.06	1.96	0	0	0.01	0	0.01	2	住吉本町3－1	住吉本町公園
1122-6	0.11	2.54	0.38	0.01	0	0.1	3.42	0	nd	0.01	0	0	3	西岡本3	野寄公園
1122-7	0.92	2.66	0.5	0.03	nd	0.13	5.07	0	nd	0.01	0	nd	5	西岡本4	配水所グランド
1122-8	nd	1.84	0.34	0	0.01	0.07	2.82	0	0	0.02	0	0	5	西岡本5	西岡本公園
1122-9	0.63	2.86	0.73	0.04	nd	0.11	3.72	0.01	0	0.02	nd	0.01	6	岡本7	岡本中公園
1122-10	0.75	2.93	0.38	0.03	0.01	0.09	3.12	0.01	0	0.01	0	nd	6	岡本8	長子公園
1122-11	0.73	2.58	0.42	0	nd	0.13	3.96	0	0	0.01	nd	0	6	岡本6	天井川公園
1122-12	0.46	2.05	0.47	0	0	0.14	3.69	0.01	0	0.02	nd	0	6	岡本6	岡本公園
1122-13	0.31	3.68	0.39	0.01	0	0.12	3.23	0.01	0.01	0.02	0	0	5	岡本9	屋敷本公園
晴れ	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO			
1218-1	1.55	3.18	0.63	0.02	0	0.13	4.27	0.01	nd	0.01	nd	0	5	鶴甲3－11	発達グランド
1218-2	0.68	1.9	0.35	0.02	0	0.12	3.34	0	nd	0.02	nd	0.01	3	鶴甲3	大土神社
1218-3	1.1	2.78	0.58	0.01	nd	0.17	5.46	0.01	nd	0.01	nd	nd	6	大月台	大月台公園
1218-4	1.42	2.88	0.56	0.02	0	0.13	3.87	0	0	0.01	nd	nd	6	大土平町	神社
1218-5	1.59	3.09	0.81	0.04	0	0.19	5.73	0.01	nd	0.01	nd	nd	6	箕岡通1	円山公園
1218-6	0.76	2.59	0.42	0.01	0.01	0.09	2.78	0.01	0	0.01	0	0	5	篠原中町5	篠原公園北
1218-7	0.89	2.69	0.39	0.01	nd	0.11	3.51	0.01	0	0.01	0	nd	5	篠原中町5	篠原公園南
1218-8	0.42	2.48	0.44	0.01	nd	0.11	4	0.01	nd	0.01	0	nd	3	篠原南町6	都賀川公園
1218-9	0.7	2.91	0.39	0.01	0	0.11	2.97	0	0	0.01	nd	0.01	3	上河原通3－2	都賀川公園
1218-10	2.98	5.05	0.79	0.03	nd	0.19	6.67	0.01	nd	0.02	0	0	2	大石北町1	都賀川公園
1218-11	1.23	2.39	0.46	0.02	0.02	0.19	7.27	0.01	0.02	0.04	nd	0	2	新在家南町5	ヨットハーバー
1218-12	0.75	2.36	0.31	0.03	0.01	0.13	4.45	0.01	0	0.02	nd	0	4	新在家南町3－2	若宮八幡神社
1218-13	0.28	2.53	0.4	0.04	0.01	0.13	4.11	0.01	0.01	0.05	0	0.01	1	徳井町1	石屋川公園
1218-14	0.71	2.38	0.26	0	0.01	0.07	1.98	0	0	0.02	nd	0	3	鶴甲5	鶴甲東公園
都賀川公園	MgO	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	NiO	CuO	ZnO	HgO	PbO		深度	粒径
0526-1	nd	3.81	0.7	0.1	0.15	0.21	8.24	0.07	0.01	0.06	nd	0.02		0～2	20～60
0526-2	nd	4.2	0.85	0.1	0.16	0.26	9.41	0.07	0.01	0.07	nd	0.02		0～2	60～100
0526-3	nd	4.89	1.02	0.07	0.06	0.46	11.4	0.05	0.02	0.1	nd	0.04		0～2	100～
0526-4	nd	3.82	0.78	0.1	0.11	0.32	8.14	0.06	0.01	0.04	0	nd		2～6	20～60
0526-5	nd	4.37	1.09	0.09	0.13	0.47	10.4	0.08	0	0.04	0.01	0.02		2～6	60～100
0526-6	nd	5.06	1.16	0.11	0.04	0.5	12.4	0.05	0.02	0.07	nd	0.03		2～6	100～
0526-7	nd	3.85	0.84	0.06	0.08	0.33	7.96	0.06	0	0.03	nd	0.02		6～10	20～60
0526-8	nd	4.29	0.94	0.09	0.1	0.39	9.32	0.07	0.01	0.04	0	nd		6～10	60～100
0526-9	nd	5.49	1.02	0.11	0.03	0.49	11.6	0.05	0.01	0.06	nd	0.03		6～10	100～

結果

製鉄所沿い道路わき粉じんの分析結果を図5で示す。この製鉄所沿い道路は、阪神高速３号神戸線の摩耶出口からハーバーハイウェイの入り口付近にかけトラックの往来が多い（試料採取地点２～８の間)。また、地点５～８の背後には製鉄所があり、製鉄所の影響がこの付近で大きくなると考えられる。分析結果は、Mg, Ca, Cr, Mn, Feが地点５～８の地点で最も高く、そのピーク地点から離れるに従い、それらの重金属濃度も減少した。また、Cu, Znは上記の重金属類とは異なったパターンを示し、自動車交通の量が多い地点（地点２～８）で高い値となった。特に交差点付近で採取した地点2や4に特に高い値を示し、交通量のほとんどない地点で採取した地点1で低い値を示し、地点6で凹になる分布をした。Hgは地点６～９にかけ、Pbは地点５～８にかけて検出限界以下であったが、地点２や４で高い値を示した。TiはMg, Ca, Cr, Mn, Feと同様に地点７でピークを持つ分布を示したが、同時にCu, Znに特徴的だった地点2, 4でも高い値となった。また、Niは地点９にピークを持つ分布を示した。

図６で公園土壌の結果を各重金属分析結果の平均値＋標準偏差×２倍以上、平均値＋標準偏差以上、平均値＋標準偏差×0.5倍以上、平均値＋標準偏差×0.5倍未満と４分類し、調査地域の地図上にプロットした（平均値＋標準偏差×0.5倍未満はサンプル地点のみを表示)。その結果、明確に製鉄所周辺で高い値となったのは、Mn, Feである。Ti, V, Cr, Niも製鉄所周辺で高い値になる傾向が得られた。また、図７で４車線以上の道路（国道43号線, 国道２号線, 山手幹線, 将軍通線, 鶴甲山線, 高羽線, 西御影線, 魚崎幹線, 港湾幹線道路, 浜魚崎線）を主要道路、その他の２車線道路を大きな道路と分類し、公園を道路からの影響ごとに６分類を行った。その結果Mg, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pbが道路の影響が強くなるにつれ、そのWt.%が高くなる傾向が見られた。また、Cu, Zn, Pbが最も道路の影響が強い主要道路に面した地点（分類１）で特に高い含有量を示す傾向がみられた。そのほかにはMg, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Hg濃度が調査地域北部の地域で高い値を示す傾向が見られた。

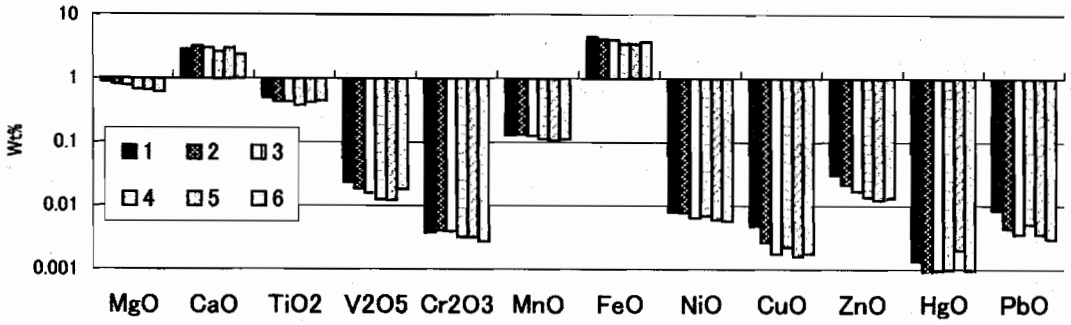


図7　公園を道路からの影響の強さごとに6分類し、それぞれの平均値の組成比較を示す。6分類は以下のように行った。1:主要道路に面している，2:主要道路から1区画以内,大きな道路に面している，3:主要道路から2区画以内,大きな道路から1区画以内，4:主要道路から3区画以内，大きな道路2区画以内，5それ以上離れた市街地，6:山麓の住居地域 ;1から6の順に道路からの影響が小さくなることを示す。

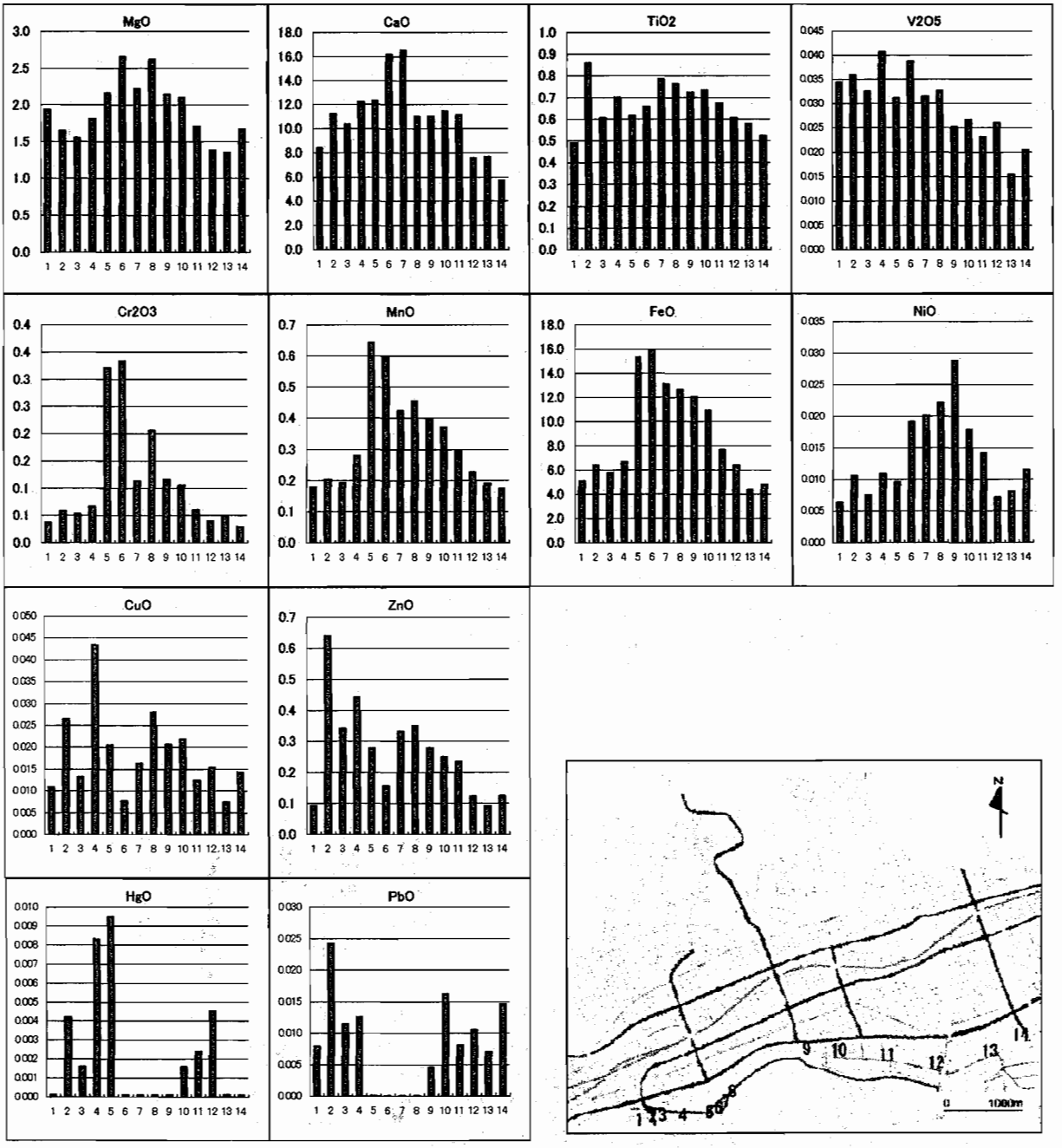


図5　工場地域を通る海岸沿い道路わき粉じんの、製鉄所と自動車による重金属汚染の影響を示す図

縦軸はWt.%を示す。横軸は試料採取位置を示し、製鉄所の位置は地点5～8付近にあり、交通量中心は地点2～8にある。右下の図は試料採取位置を示す。

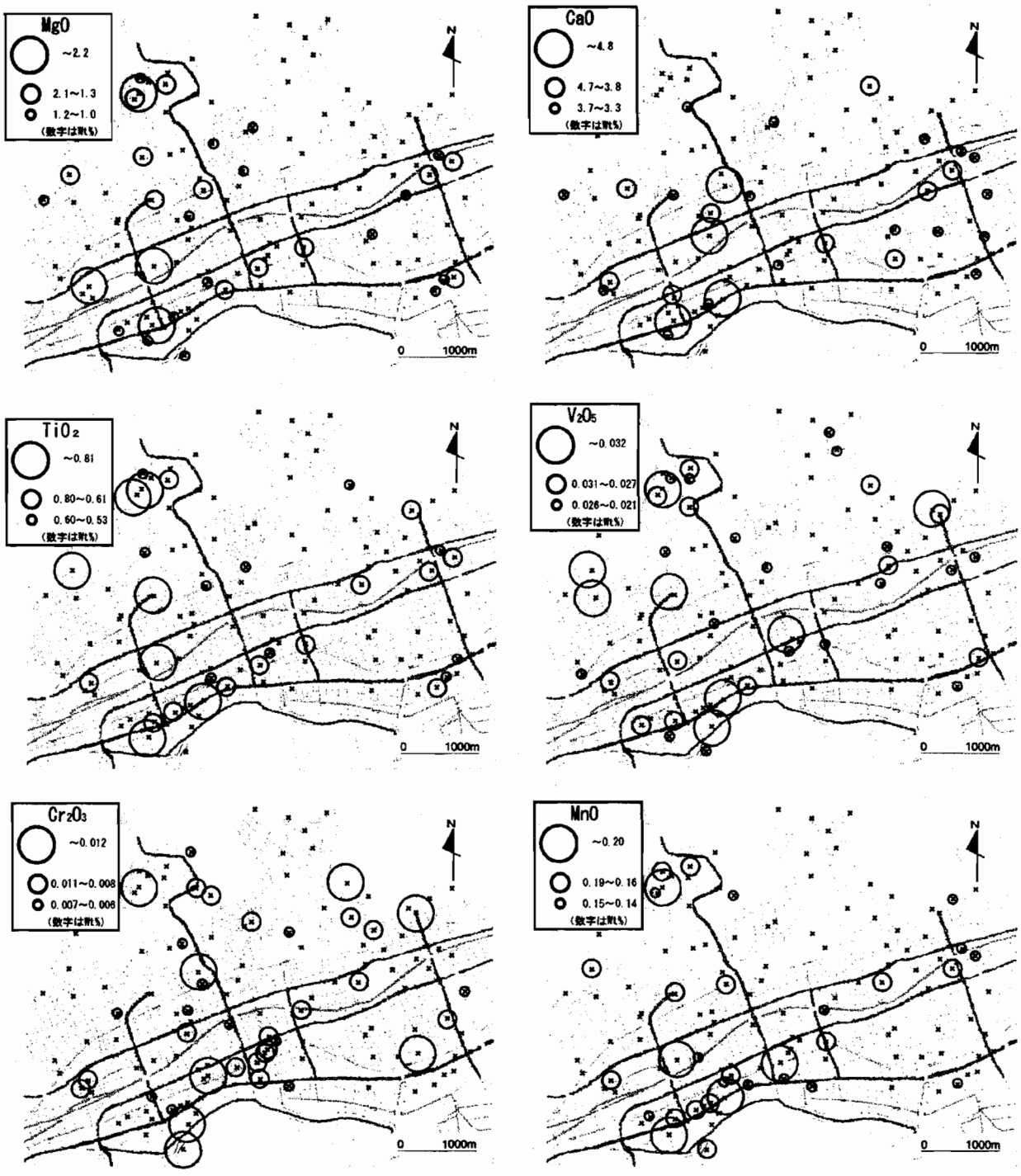


図6－１　公園試料分析結果による重金属濃度分布図（Mg～Mn）
×印は試料採取公園位置を示す。濃度表示は三段階で行い、一番大きな丸印は平均Wt%+標準偏差×２以上を示し、二番目に大きな丸印は平均Wt%+標準偏差以上を示し、一番小さな丸印は平均Wt%+標準偏差×0.5以上を示す。
平均Wt%+標準偏差×0.5未満は丸印では表示せず、試料採取地点のみを示す。

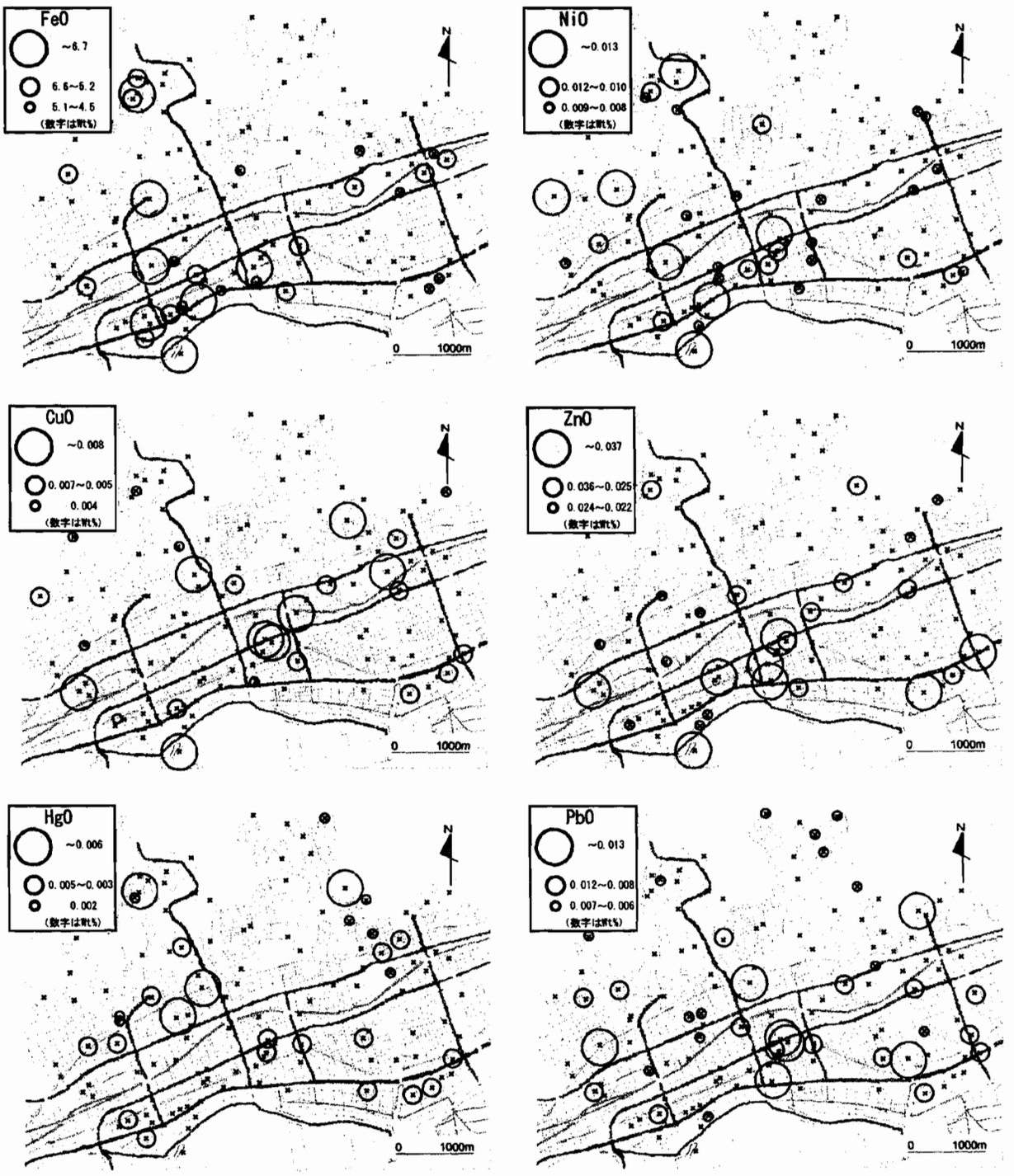


図6－２　公園試料分析結果による重金属濃度分布図（Fe～Pb）
×印は試料採取公園位置を示す。濃度表示は三段階で行い、一番大きな丸印は平均Wt%+標準偏差×２以上を示し、二番目に大きな丸印は平均Wt%+標準偏差以上を示し、一番小さな丸印は平均Wt%+標準偏差×0.5以上を示す。
平均Wt%+標準偏差×0.5未満は丸印では表示せず、試料採取地点のみを示す。

考察

製鉄所では製鉄過程で鉄やマンガンを中心とした多くの重金属が用いられている。そのためMg, Ca, Cr, V, Ti, Ni, Mn, Feなどの重金属元素が排煙などを通じ工場の外へ放出され、製鉄所付近の粉じんや公園土壌中でこれらの重金属濃度が高くなったと考える。その重金属の排出は、公園土壌の調査結果では製鉄所周辺数キロ四方もの広域に分布したことから、高い煙突から放出された重金属微粒子が風によって飛ばされ、広域的に公園土壌に堆積したと推測する。一方、製鉄所のごく周辺の道路わきでは濃度勾配が明確にみられたため、広域な分布が予想される煙突からの排煙よりも、むしろ特定の施設内から直接重金属粒子が風などに吹かれ飛ばされ、製鉄所周辺粉じんで高濃度になった可能性が高いと考える。

自動車交通の影響を考察すると、本調査地域は交通量の多い道路の分布が南部に偏り、製鉄所からの影響と重なる。そのため、図7で示した自動車の影響が考えられた元素全てが自動車の影響下で高い値となったとは限らず、製鉄所の影響も重っていると考える。しかし、自動車の影響は製鉄所に比べ遠くにまでその影響は及ばないと考えられ、主要道路のごく付近で特に高い値となったCu, Zn, Pbが自動車の影響を特徴的に強く受ける元素と考えられる。また、これらの元素は図5の結果からも自動車の影響を受けたことが明らかである。

自動車交通量の多い道路では、ディーゼル車の排煙、タイヤやブレーキパットの磨耗、自動車車体のさび、および道路のアスファルトの磨耗などが重金属発生源と考えられる。

それらの発生源より形成された重金属微粒子が、自動車の走行に伴う巻き上げにより飛ばされ付近の土壌に降下し、土壌重金属汚染の原因になったと考える。

調査地域の北部地域に濃集が見られた元素の由来については製鉄所からの排煙がその地域にまで及んだことや、山麓部による急坂のため自動車の排気ガス中の微粒子濃度が増えたことも考えられたが、より鉄成分が多い布引花崗閃緑岩の分布地域に近いことから、バックグランドの違いによる影響もあると考えられる。

製鉄所起源と考えられるの土壌重金属汚染も、自動車交通が起源と考えられる土壌重金属汚染も、いずれも発生源より環境中に放出された重金属微粒子が一度大気を媒介することにより周囲の土壌に蓄積されていった。そして、大気を媒介とした土壌重金属汚染は汚染の広域をもたらす結果となった。また、土壌に降下した重金属は土壌に吸着し蓄積され、汚染が長期化する。現在は大気汚染に強く注目されているが、大気中に漂う重金属微粒子は、一部は水系によって川や海に運ばれるが、残りの重金属微粒子は土壌に蓄積される。

土壌は汚染の終着点と考えられているかもしれないが、土壌中での重金属の挙動も完全に解明されておらず、新たな問題を引き起こす可能性もあり、今後も土壌の監視を行う必要がある。

まとめ

試料の採取方法の検討結果

1：Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Pbは試料粒径が小さくなるにつれWt.％が高くなった。
2：一方、V, Cr, Niは試料粒径が大きくなるにつれWt.％が高くなった。
3：Cr, Ni, Cu, Zn, Pbは土壌最表層部に向かうにつれWt.％が高くなった。
4：Cr, Znは公園グランド内の水溜り跡や、水路跡が残る地点でWt.％が高くなった。
5：Ti, Mn, Fe, Ni, Znは公園グランド内の水溜り跡において特にWt.％が高くなった。

採取試料の分析結果

1：Mg, Ca, Cr, Mn, Feは製鉄所周囲の道路わき粉じん中でWt.％が高くなった。
2：Cr, V, Ti, Ni, Mn, Feは製鉄所付近の公園土壌でWt.％が高くなった。
3：Cu, Znは道路わき粉じん分析で、交通量が多い地点でWt.％が高くなった。
4：Mg, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pbは道路からの影響が強くなるにつれWt.％が高くなった。
5：Cu, Zn, Pbは交通量の多い主要道路に面した公園土壌で特にWt.％が高くなった。

謝辞

今回の報告は卒業研究の結果をまとめたものである。卒業研究では、兵庫県公害研究所の主任研究官の梅本氏、駒井氏に自然環境問題に取り組む第一線からのご助言、資料の提供などの多くのご支援をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

足立光司　田結庄良昭　1999　『神戸市における地震による焼失地域および自動車道路付近の表層地質土壌中の重金属濃度分布』第9回環境地質学シンポジウム論文集 p 81－86
浅見輝男　1990『茨城県における土壌および道路わき粉じんの重金属汚染』茨城大学地域総合研究所年報　p 17-45
岡崎正規　1993『環境土壌学』朝倉書店
岡崎正規　1981『街路土壌のアルカリ化と重金属汚染』農業土木学会誌、第49巻 p 13-17
岩田進午　善田大三　1997『土の環境圏』フジ・テクノシステム
諫早典夫　中江茂　平沢紘介1987『空気清浄のための浮遊微粒子の計測、制御総合技術』
JEOL　JSX-3220　1994『エレメントアナライザー取扱説明書』
建設省国土地理院　1996都市圏活断層図、近畿中部地区、神戸, 大阪西北部
神戸市環境局　1999『平成9年度神戸市大気汚染調査報告』第四〇報
(社)日本水環境学会　1997『阪神・淡路大震災による水環境への影響と対策』
日本化学会北海道支部編　1998『環境の化学分析』三共出版
通産省工業技術院地質調査所　1996　日本地質図体系　近畿地方神戸市環境局